



TITLE:

# Neural Representation of Anticipation Involved in Decision Making( Abstract\_要旨 )

AUTHOR(S):

Shikauchi, Yumi

---

CITATION:

Shikauchi, Yumi. Neural Representation of Anticipation Involved in Decision Making. 京都大学, 2017, 博士(情報学)

ISSUE DATE:

2017-01-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k20098>

RIGHT:

許諾条件により本文は2018-01-22に公開

( 続紙 1 )

|   |   |    |       |
|---|---|----|-------|
| 京都大学  | 博士（情報学）   | 氏名 | 鹿内 友美 |
| 論文題目  | Neural Representation of Anticipation Involved in Decision Making<br>（意思決定に伴う予測の脳内表象に関する研究） |    |       |
| <p>（論文内容の要旨）</p> <p>In 1971, O’Keefe and Dostrovsky reported that responses of cells in the dorsal hippocampus of rats to restraining tactile stimuli represent information involved in place identification. Neuroscientists have been studying the hippocampal place systems in rodents, primates and human until today. One of the most curious finding therein is that the hippocampal place system is just like a car navigation system; it represents not only a current position, but also possible future paths. However, how animals and humans detect/expect special information has not been well elucidated. We have no bird’s-eye view indubitably, and have to connect external, partially observable visual cues to the map maintained in the brain for knowing the topography around us. Resolution of uncertainty due to the partial observability is an unexplained function of the brain. Moreover, sensory inputs (e.g., a view of scenery in vision) are often quite different from the map-like representation with a well-organized coordinate system. Thus, position detection should require unknown intermediate representation between the map-like topographic system and each scene view.</p> <p>This thesis aimed at describing the neural encoding mechanism that translates an upcoming scene view into its anticipating brain activity. To examine how to cope with the uncertainty resolution, human behaviors when performing a partially observable maze navigation task were modeled by means of statistical modeling; in particular, a hidden Markov model (HMM) was developed, such to incorporate inference of a hidden variable in the environment and switching between exploration and exploitation based on the inference. The HMM-based model well reproduced the human behaviors, suggesting the human subjects actually performed exploration and exploitation to effectively adapt to this uncertain environment. To determine how the brain performs view expectation during spatial navigation, next, a multiple parallel decoding technique was applied to functional magnetic resonance imaging (fMRI) when human participants performed scene choice tasks in learned maze navigation environments. It enabled decoding of participants’ view expectation from fMRI signals in parietal and medial prefrontal cortices, whereas activity patterns in occipital cortex represented various types of external cues. The decoder’s output reflected</p> |   |    |       |

participants' expectations even when they were wrong, corresponding to subjective beliefs which were opposed to objective reality. Then, appropriate encoding models were identified so that they well reproduce anticipating fMRI activities in a data-driven manner during maze navigation. The obtained encoding models were noise-tolerant, because they incorporated the characteristics of the task environment. It was also found that the encoding models could predict fMRI activities in the inferior parietal gyrus and precuneus, and that details of anticipated scenes were locally represented in the superior prefrontal gyrus. Furthermore, a decoder associated with the data-driven encoding models accurately predicted future scene views in both passive and active navigational environments.

In summary, the results described in this thesis indicated that humans anticipate a forthcoming scene during navigation, so that the neural representations of scene anticipation are robustly and effectively encoded in the parietal and medial prefrontal regions. It demonstrated the decoding of the participants' inaccurate prior belief of future observation. Additionally, the data-driven analysis showed that brain-activity-driven encoders represent scene views in a noise-tolerant manner and that the complementary decoder accurately predicts the future scene views. The findings through this experimental and analytical studies would be able to contribute to the future development of a new type of tool that allows people to communicate with non-linguistic modality.

(論文審査の結果の要旨)

逐次的に得られる情報（観測）に限りがある状況で目的地までの移動（ナビゲーション）をする際には、内部モデルに基づき予測を行い、予測を用いた意思決定を行うことが必要となる。モデル同定強化学習は、こうした部分観測意思決定課題に対する計算理論である。これまでに、モデル同定強化学習がヒトの行動をよく説明できることが示されてきたが、意思決定課題中の予測に関わる脳内の表象および行動との関連は未解明であった。本論文は、特に、ヒトのナビゲーション中のシーンの予測に焦点を当て、行動実験と機能的磁気共鳴画像法（fMRI）の併用により、各種の行動指標（シーン予測、観測、位置など）と脳活動パターンの関連を調査したものである。これまで実現されていなかった高次脳領域からの復号化を成功させ、その中で、予測の符号化方式へと議論を展開することにより、以下のような成果を得ている。

（１） 多次元情報であるシーンの予測を復号するものとして、脳内の複数ボクセルにわたるパターン解析の手法に基づき、複数の分類器により統合的に復号する手法を提案した。視覚野（後頭葉）ではナビゲーションに関連する多様な視覚情報が読みとれる一方で、前頭前野および頭頂葉ではシーン予測に特化した情報表現があることが明らかになった。これらの領域では、実験参加者による予測の間違いも読み取ることができ、これまで実現されていなかった、高次脳機能である信念の復号化に成功している。高次脳機能については未解明のものが多く、多次元情報の並行復号化法は他の複雑な脳内表象の読み取りにも転用可能な技術である。

（２） 復号化したシーンの重ね合わせにより、内部モデルである認知地図の再構成に成功した。復号化性能とシーン予測行動を評価することで、脳内表象と行動指標の関連を明らかにした。予測がうまくできるほどシーン予測の脳内表象が分離されていることを確認している。これは、脳内表象と行動指標の関連を直接的に示す結果であり、どのような脳活動が行動指標の改善に結びつくのかを示した点で意義がある。

（３） 多次元情報であるシーンを脳活動パターンに変換（符号化）する際、各シーンをそれぞれどのようなパターンに割り振るかは、符号化効率とロバスト性の観点から重要である。視覚野などの低次領域とは異なり、高次領域ではどのような符号化モデルが適切であるかは未解明である。この問題に対して、符号化モデルを fMRI 脳活動パターンとの相関に基づいて選択する方法を提案している。fMRI 脳活動駆動で選択した符号化モデルは、ナビゲーション環境の統計を反映したロバストなものであることが分かった。また、将来の観測の見通しが立たないとき回り道を通るような不適切な意思決定が増えることを確認した。このことは、想定される内部モデルと実際のヒト意思決定の密接な関わりあいを示した点で意義がある。

以上を要するに、本論文は高次脳機能である観測予測の脳内表象について、符号理論などに基づき数理的解釈を示した点で重要であり、博士（情報学）の学位に値するものと認める。

平成28年12月14日に論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果、合格と認めた。

注)論文審査の結果の要旨の結句には、学位論文の審査についての認定を明記すること。  
更に、試問の結果の要旨（例えば「平成 年 月 日論文内容とそれに関連した  
口頭試問を行った結果合格と認めた。」）を付け加えること。

Webでの即日公開を希望しない場合は、以下に公開可能とする日付を記入すること。  
要旨公開可能日： 年 月 日以降